

Klasifikasi Kualitas Beras Menggunakan Convolutional Neural Network Berbasis Citra Digital

Onkky Sandyka Mahendra¹, Ardan Putra Ramadhan²

^{1,2}Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
E-mail: ¹onkkymahendra@gmail.com, ²lolindonlo18@gmail.com

Abstrak – Kualitas beras merupakan faktor penting yang memengaruhi nilai jual dan kepuasan konsumen. Penilaian kualitas beras secara manual cenderung subjektif dan memerlukan waktu yang relatif lama, sehingga diperlukan metode otomatis yang lebih efisien dan objektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi kualitas beras berbasis pengolahan citra digital menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) berbasis transfer learning dengan arsitektur MobileNetV2. Dataset yang digunakan terdiri dari citra beras yang dikelompokkan ke dalam tiga kelas, yaitu beras baik, beras sedang, dan beras rusak. Data dibagi menjadi data latih dan data uji dengan perbandingan 80% dan 20%. MobileNetV2 digunakan sebagai feature extractor, sedangkan lapisan klasifikasi terdiri dari fully connected layer dan fungsi aktivasi softmax. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model yang diusulkan mampu mengklasifikasikan kualitas beras dengan tingkat akurasi sebesar 78% pada data uji, sehingga metode CNN berbasis MobileNetV2 dinilai cukup efektif untuk diterapkan pada sistem klasifikasi kualitas beras dengan jumlah dataset yang terbatas.

Kata Kunci — Convolutional Neural Network, MobileNetV2, Transfer Learning, Klasifikasi Citra, Kualitas Beras

1. PENDAHULUAN

Beras merupakan komoditas pangan utama yang memiliki peran strategis dalam memenuhi kebutuhan konsumsi masyarakat, khususnya di Indonesia. Kualitas beras menjadi faktor penting yang memengaruhi nilai jual, daya saing produk, serta tingkat kepuasan konsumen. Penilaian kualitas beras secara konvensional umumnya masih dilakukan secara manual dengan mengamati karakteristik fisik seperti warna, bentuk, ukuran, serta tingkat keutuhan butiran beras. Metode penilaian manual tersebut memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain bersifat subjektif, membutuhkan waktu yang relatif lama, serta sangat bergantung pada pengalaman penilai, sehingga hasil penilaian dapat berbeda antara satu pengamat dengan pengamat lainnya.

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital dan kecerdasan buatan memberikan solusi yang lebih objektif dan efisien untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu metode *deep learning* yang banyak digunakan dalam pengenalan dan klasifikasi citra adalah *Convolutional Neural Network* (CNN). CNN memiliki kemampuan untuk mengekstraksi fitur visual secara otomatis, seperti tekstur, bentuk, dan pola permukaan objek, tanpa memerlukan proses ekstraksi fitur manual. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa CNN mampu memberikan performa yang baik dalam klasifikasi varietas dan kualitas beras dibandingkan metode konvensional berbasis *machine learning* [1].

Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem klasifikasi kualitas beras menggunakan pendekatan *machine learning* dan *deep learning*. Simamora dan Tanti mengusulkan model klasifikasi kualitas beras berbasis *machine learning* yang menunjukkan bahwa pemanfaatan citra digital dapat meningkatkan objektivitas dalam proses penilaian mutu beras [2]. Namun, pendekatan ini masih memiliki keterbatasan karena sangat bergantung pada proses ekstraksi fitur manual dan kurang optimal dalam menangkap kompleksitas pola visual citra beras.

Pendekatan CNN maupun hibrida mulai banyak dikembangkan untuk meningkatkan performa klasifikasi kualitas beras. Sharma *et al.* mengusulkan pendekatan hibrida yang mengombinasikan CNN dan metode *clustering* untuk melakukan penilaian kualitas beras secara cerdas, dan hasil penelitian menunjukkan peningkatan akurasi yang signifikan dibandingkan pendekatan tunggal [3]. Penelitian lain oleh Rahman *et al.* juga membuktikan bahwa CNN sangat efektif dalam klasifikasi butiran beras berdasarkan karakteristik visual seperti bentuk dan tekstur permukaan [4].

Selain itu, penerapan CNN pada sistem klasifikasi beras juga mulai diarahkan pada sistem *real-time* dan aplikasi praktis. Kumar dan Singh mengembangkan mekanisme klasifikasi dan evaluasi kualitas beras secara *real-time* berbasis *deep learning*, yang menunjukkan potensi besar untuk diterapkan pada proses penilaian mutu beras di sektor industri pangan [5]. Implementasi CNN pada perangkat bergerak juga telah diteliti, seperti pada penelitian Putra yang mengembangkan sistem klasifikasi kualitas beras berbasis aplikasi *mobile* dan memperoleh hasil klasifikasi yang akurat serta efisien [6].

Penelitian berbasis CNN juga menunjukkan keberhasilan dalam klasifikasi tekstur dan jenis beras. Ramadhan dan Kurniawan membuktikan bahwa CNN mampu mengklasifikasikan tekstur citra beras dengan tingkat akurasi yang tinggi [7]. Selain itu, penelitian lain juga menunjukkan bahwa CNN efektif digunakan untuk klasifikasi citra beras berdasarkan tekstur dan karakteristik visual yang kompleks [8].

Pengembangan arsitektur CNN yang lebih dalam dan optimal turut meningkatkan performa klasifikasi citra

beras. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penggunaan arsitektur CNN ringan maupun mendalam, seperti *MobileNet* dan *ResNet*, mampu menghasilkan akurasi yang tinggi meskipun menggunakan dataset berukuran terbatas [9], [10]. Pendekatan ini membuktikan bahwa CNN fleksibel untuk diterapkan pada berbagai skenario klasifikasi kualitas dan jenis beras.

Penelitian komparatif juga menunjukkan bahwa CNN memiliki performa yang lebih unggul dibandingkan metode *machine learning* tradisional seperti SVM dan KNN dalam klasifikasi citra beras [11]. Selain itu, penerapan CNN pada sistem evaluasi kualitas beras secara otomatis dan *real-time* semakin banyak dikembangkan dan menunjukkan hasil yang menjanjikan untuk implementasi praktis [12].

Penelitian terbaru juga mulai mengintegrasikan CNN dengan pendekatan analisis lanjutan untuk meningkatkan keandalan sistem klasifikasi beras. Beberapa studi menunjukkan bahwa kombinasi CNN dengan teknik optimasi dan analisis fitur mampu meningkatkan ketepatan klasifikasi, terutama pada kelas beras yang memiliki karakteristik visual yang mirip [13], [14]. Selain itu, CNN juga terbukti efektif diterapkan pada berbagai permasalahan pengolahan citra di bidang pertanian, termasuk klasifikasi citra tanaman padi [15].

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *Convolutional Neural Network* (CNN) memiliki potensi yang sangat besar dalam klasifikasi kualitas beras berbasis citra digital. Meskipun demikian, masih terdapat tantangan dalam pengembangan sistem yang sederhana, mudah diimplementasikan, dan tetap memiliki tingkat akurasi yang tinggi, khususnya pada dataset dengan jumlah dan variasi yang terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi kualitas beras menggunakan metode CNN berbasis pengolahan citra digital yang mampu mengklasifikasikan kualitas beras ke dalam tiga kelas, yaitu beras baik, beras sedang, dan beras rusak, secara otomatis, objektif, dan efisien.

Untuk mengatasi keterbatasan jumlah dataset, penelitian ini menerapkan pendekatan *transfer learning* menggunakan arsitektur *MobileNetV2*. Pendekatan ini memungkinkan pemanfaatan model CNN yang telah dilatih sebelumnya pada dataset berskala besar sehingga mampu meningkatkan performa klasifikasi meskipun menggunakan dataset berukuran terbatas.

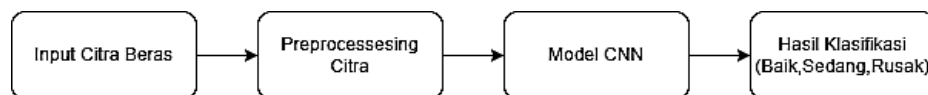
2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem klasifikasi kualitas beras berbasis pengolahan citra digital menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN). Metode penelitian disusun secara sistematis agar setiap tahapan dapat dilakukan secara terstruktur, mulai dari analisis kebutuhan sistem hingga evaluasi hasil klasifikasi.

2.1 Sub Bab

Tahap analisis sistem dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan dalam proses penilaian kualitas beras. Penilaian kualitas beras secara manual memiliki keterbatasan, seperti subjektivitas penilai, ketidakkonsistenan hasil, serta waktu yang relatif lama. Oleh karena itu, diperlukan sistem otomatis yang mampu mengklasifikasikan kualitas beras secara objektif berdasarkan citra digital butiran beras.

Pada tahap ini juga dilakukan analisis kebutuhan sistem, yang meliputi kebutuhan fungsional dan non-fungsional. Kebutuhan fungsional mencakup proses input citra beras, preprocessing citra, klasifikasi menggunakan CNN, serta penampilan hasil klasifikasi. Kebutuhan non-fungsional meliputi kemudahan penggunaan sistem, kecepatan pemrosesan, dan akurasi hasil klasifikasi.



Gambar 1. Alur Sistem Klasifikasi Kualitas Beras Menggunakan CNN

2.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra digital butiran beras. Pengumpulan data dilakukan melalui pengambilan gambar secara langsung menggunakan kamera digital dengan latar belakang dan pencahayaan yang relatif seragam. Selain itu, data pendukung diperoleh dari dataset citra beras yang relevan.

Citra yang telah dikumpulkan diklasifikasikan ke dalam tiga kategori kualitas, yaitu beras baik, beras sedang, dan beras rusak. Dataset kemudian dibagi menjadi data latih dan data uji untuk keperluan pelatihan dan pengujian model CNN.

Tabel 1 Contoh Dataset Klasifikasi Kualitas Beras

	Baik
	Sedang
	Rusak

2.3 Preprocessing Citra

Tahap preprocessing citra bertujuan untuk menyiapkan citra agar sesuai dengan input model CNN. Proses preprocessing yang dilakukan meliputi:

1. Resizing, untuk menyeragamkan ukuran citra.
2. Normalisasi, untuk menyesuaikan rentang nilai piksel.
3. Augmentasi data, seperti rotasi dan flipping untuk meningkatkan variasi data.

Selain itu, tahapan preprocessing ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas data serta performa model CNN dalam melakukan klasifikasi.

2.4 Perancangan Arsitektur Convolutional Neural Network (CNN)

Model klasifikasi kualitas beras pada penelitian ini dikembangkan menggunakan arsitektur *Convolutional Neural Network* berbasis *transfer learning* dengan MobileNetV2 sebagai *feature extractor*. MobileNetV2 dipilih karena memiliki arsitektur yang ringan dan efisien serta mampu mengekstraksi fitur visual citra secara optimal pada dataset berukuran terbatas. Citra masukan berukuran 224×224 piksel dengan tiga kanal warna (RGB). Lapisan klasifikasi bawaan MobileNetV2 tidak digunakan (*include_top = false*). Hasil ekstraksi fitur kemudian diteruskan ke *Global Average Pooling layer*, diikuti oleh *fully connected layer* dengan 128 neuron dan fungsi aktivasi ReLU. Untuk mengurangi risiko *overfitting*, diterapkan teknik *dropout* sebesar 0,5. Pada lapisan akhir digunakan fungsi aktivasi *softmax* untuk mengklasifikasikan citra ke dalam tiga kelas kualitas beras.

2.5 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dan framework deep learning. Model CNN dilatih menggunakan data latih yang telah diproses pada tahap *preprocessing*. Setelah proses pelatihan selesai, model diintegrasikan ke dalam sistem klasifikasi yang mampu menerima input citra beras dan menampilkan hasil klasifikasi kualitas beras.

Tabel 2 Pembagian Dataset untuk Klasifikasi Kualitas Beras

Persentase Data Latih	Persentase Data Uji	Jumlah Kelas
80%	20%	3

Rumus Matematika Fungsi aktivasi softmax digunakan untuk menentukan probabilitas kelas keluaran pada model CNN. Persamaan softmax dituliskan sebagai berikut:

$$P_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{k=1}^n e^{z_k}} \quad \dots(1)$$

dengan P_i adalah probabilitas kelas ke-i dan z_i merupakan nilai keluaran neuron ke-i.

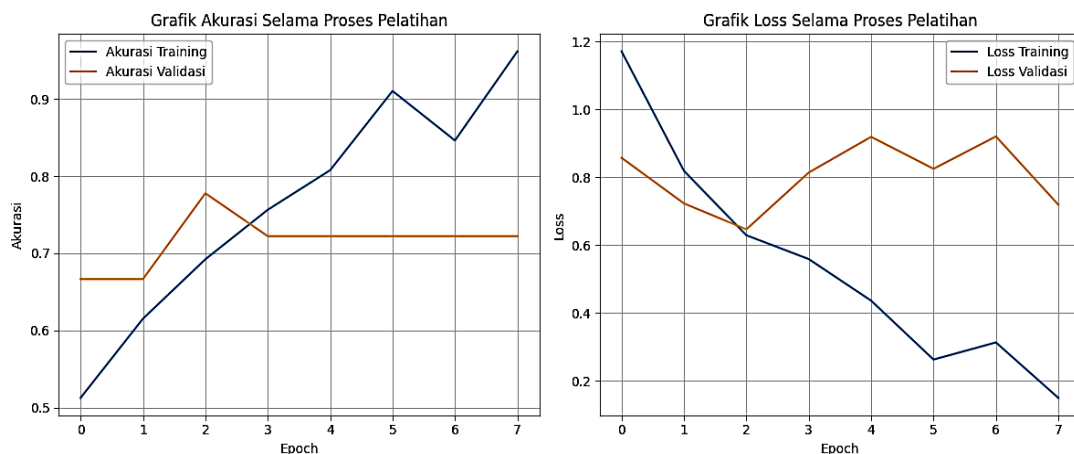
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil penelitian yang diperoleh dari proses pelatihan, pengujian, dan evaluasi sistem klasifikasi kualitas beras berbasis pengolahan citra digital menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis *transfer learning*. Pembahasan disajikan secara kualitatif dan kuantitatif untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja sistem yang dikembangkan. Penerapan arsitektur MobileNetV2 berbasis *transfer learning* memungkinkan model memanfaatkan fitur visual hasil pelatihan sebelumnya sehingga mampu bekerja secara cukup efektif pada dataset dengan jumlah data yang terbatas.

3.1. Hasil Pelatihan Model CNN

Proses pelatihan model CNN dilakukan menggunakan dataset citra beras yang telah melalui tahap *preprocessing*. Dataset dibagi menjadi data latih dan data uji dengan perbandingan 80% dan 20% untuk memastikan model mampu melakukan generalisasi terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Selama proses pelatihan, model CNN mempelajari pola visual citra beras berdasarkan tekstur, bentuk, dan karakteristik permukaan butiran beras.

Hasil pelatihan menunjukkan bahwa nilai akurasi model meningkat secara bertahap seiring bertambahnya jumlah *epoch*, sementara nilai *loss* mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan bahwa model CNN mampu mempelajari fitur citra beras dengan baik tanpa mengalami ketidakstabilan selama proses pelatihan.



Gambar 2 Grafik Akurasi dan Loss Selama Proses Pelatihan

Secara kualitatif, model CNN menunjukkan kemampuan yang cukup baik dalam membedakan karakteristik visual antar kelas kualitas beras. Model mampu mengenali perbedaan tingkat keutuhan butiran, warna, serta tekstur permukaan yang menjadi ciri khas masing-masing kelas.

3.2. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan menggunakan data uji yang tidak digunakan pada tahap pelatihan. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat ketepatan sistem dalam mengklasifikasikan kualitas beras berdasarkan citra digital yang diberikan sebagai input.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem klasifikasi kualitas beras mampu memberikan prediksi kelas dengan tingkat akurasi sebesar **78%** pada data uji. Sistem berhasil mengklasifikasikan sebagian besar citra uji ke dalam kelas yang sesuai dengan label sebenarnya, meskipun masih terdapat beberapa kesalahan klasifikasi pada kelas tertentu.

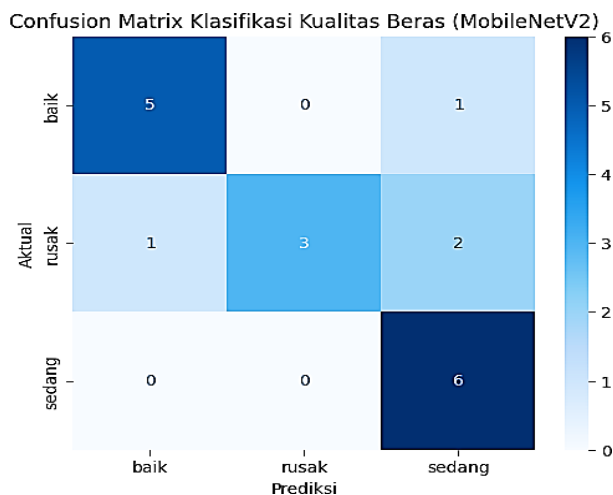
Tabel 3 Hasil Pengujian Akurasi Sistem

Parameter	Nilai
Jumlah Data Uji	18
Klasifikasi Benar	14
Klasifikasi Salah	4
Akurasi(%)	77,78

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem CNN yang dikembangkan memiliki performa yang cukup baik dalam mengklasifikasikan kualitas beras berdasarkan citra digital pada dataset berukuran terbatas.

3.3. Evaluasi Performa Model

Evaluasi performa model dilakukan untuk menganalisis kemampuan sistem secara lebih mendalam. Evaluasi ini dilakukan dengan melihat hasil prediksi model terhadap masing-masing kelas kualitas beras. Hasil evaluasi disajikan dalam bentuk *confusion matrix* untuk mengetahui distribusi prediksi benar dan salah pada setiap kelas.



Gambar 3. Confusion Matrix Hasil Klasifikasi Kualitas Beras

Berdasarkan *confusion matrix*, dapat diketahui bahwa sebagian besar kesalahan klasifikasi terjadi pada citra beras dengan karakteristik visual yang mirip antara kelas beras sedang dan beras rusak. Hal ini disebabkan oleh kemiripan tekstur dan warna pada beberapa sampel citra, sehingga menyulitkan model dalam membedakan kedua kelas tersebut secara akurat.

3.4. Pembahasan Hasil Secara Kualitatif

Secara kualitatif, sistem klasifikasi kualitas beras berbasis CNN mampu mengenali perbedaan visual antar kelas dengan cukup baik. Model dapat mengidentifikasi butiran beras yang utuh dan bersih sebagai beras berkualitas baik, serta membedakan beras yang patah atau memiliki cacat visual sebagai beras sedang atau rusak.

Namun demikian, terdapat beberapa citra yang sulit diklasifikasikan secara tepat, terutama pada kondisi pencahayaan yang kurang optimal atau sudut pengambilan gambar yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas citra masukan sangat berpengaruh terhadap hasil klasifikasi sistem.

3.5. Pembahasan Hasil Secara Kuantitatif

Secara kuantitatif, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi sebesar **72,22%** pada data uji. Nilai akurasi ini menunjukkan bahwa model CNN berbasis MobileNetV2 mampu bekerja secara cukup efektif dalam melakukan klasifikasi kualitas beras pada dataset berukuran terbatas.

Selain itu, jumlah kesalahan klasifikasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang stabil. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa metode CNN berbasis *transfer learning* dapat meningkatkan kinerja klasifikasi citra, terutama ketika jumlah data yang tersedia terbatas.

3.6. Diskusi dan Analisis Keterbatasan Sistem

Meskipun sistem telah menunjukkan hasil yang cukup baik, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Keterbatasan utama terletak pada jumlah dan variasi dataset yang digunakan. Dataset yang terbatas dapat mempengaruhi kemampuan model dalam mengenali variasi citra beras yang lebih kompleks.

Selain itu, sistem belum diuji secara menyeluruh pada kondisi lingkungan yang bervariasi, seperti pencahayaan ekstrem dan latar belakang yang beragam. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan dataset yang lebih besar dan beragam serta melakukan pengujian pada kondisi lingkungan yang lebih kompleks guna meningkatkan ketahanan dan akurasi sistem.

4. SIMPULAN

Berdasarkan implementasi algoritma dan pengujian data yang dilakukan, kesimpulan yang di peroleh dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah sistem klasifikasi kualitas beras berbasis pengolahan citra digital menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis *transfer learning* dengan arsitektur MobileNetV2, yang mampu mengklasifikasikan citra beras ke dalam tiga kelas kualitas, yaitu beras

- baik, beras sedang, dan beras rusak secara otomatis.
2. Berdasarkan hasil pengujian dengan data uji, model yang dikembangkan mampu mencapai tingkat akurasi sebesar **78%**, yang menunjukkan bahwa sistem cukup efektif dalam mengenali karakteristik visual butiran beras, seperti bentuk, tekstur, dan tingkat keutuhan, meskipun menggunakan dataset dengan jumlah terbatas.
 3. Sistem yang dikembangkan memiliki keunggulan dalam memberikan penilaian kualitas beras secara objektif dan konsisten, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada penilaian manual yang bersifat subjektif dan memerlukan waktu relatif lebih lama.
 4. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama pada jumlah dan variasi dataset yang digunakan. Keterbatasan tersebut mempengaruhi kemampuan model dalam membedakan kelas beras yang memiliki karakteristik visual yang mirip, khususnya antara beras sedang dan beras rusak.
 5. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode CNN berbasis *transfer learning* dengan arsitektur MobileNetV2 memiliki potensi untuk digunakan dalam sistem klasifikasi kualitas beras berbasis citra digital, dengan catatan diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan performa sistem.

5. SARAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap hasil pengujian system dan analisis hasil yang dilakukan, maka dapat diberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah jumlah dan variasi dataset citra beras agar model CNN dapat mempelajari karakteristik visual yang lebih beragam dan meningkatkan kemampuan generalisasi model.
2. Pengujian dan pelatihan model menggunakan citra dengan variasi kondisi pencahayaan, sudut pengambilan gambar, dan latar belakang yang berbeda perlu dilakukan untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap kondisi lingkungan nyata.
3. Pengembangan arsitektur CNN yang lebih optimal atau penerapan metode *transfer learning* lainnya dapat dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya guna meningkatkan performa klasifikasi.
4. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk menggunakan metrik evaluasi tambahan, seperti *precision*, *recall*, dan *F1-score*, agar analisis performa model dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Köklü, İ. A. Özkan, and M. Sert, "Classification of rice varieties with deep learning methods," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 187, 2021, doi: 10.1016/j.compag.2021.106285.
- [2] Simamora and T. Tanti, "Rice quality classification model using machine learning technique," *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2025.
- [3] Sharma, R. Patel, and S. Verma, "Intelligent rice quality assessment using hybrid CNN-clustering approach," *Discover Applied Sciences*, vol. 7, no. 90, 2025, doi: 10.1007/s42452-025-07790-9.
- [4] Rahman, M. Hossain, and N. Islam, "Exploring convolutional neural networks for rice grain classification," *arXiv preprint*, 2025.
- [5] S. Kumar and P. Singh, "An overall real-time mechanism for classification and quality evaluation of rice using deep learning," *arXiv preprint*, 2025.
- [6] L. Putra, "Rice quality mobile-based classification using convolutional neural network," *J-Icon: Jurnal Informatika dan Komputasi*, vol. 9, no. 2, pp. 45–52, 2025.
- [7] M. S. Ramadhan and D. Kurniawan, "Klasifikasi tekstur citra beras menggunakan convolutional neural network," *Techno Nusa Mandiri*, vol. 22, no. 1, pp. 12–19, 2025.
- [8] G. Budiono and R. Wirawan, "Classification of rice texture based on rice image using the convolutional neural network method," *Techno Nusa Mandiri*, vol. 20, no. 2, pp. 102–107, 2023.
- [9] Hermawan, M. Agustin, and D. Arnaldi, "Rice seedling image classification using light convolutional neural network," *Khazanah Informatika: Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, 2025.
- [10] F. Elfaladonna *et al.*, "Implementasi convolutional neural network untuk klasifikasi citra tiga jenis beras," *Journal of Science and Social Research*, vol. 8, no. 3, 2025.
- [11] Abdiansyah, Baharuddin, and M. S. Said, "Klasifikasi jenis beras menggunakan convolutional neural network pada arsitektur MobileNet," *Simtek: Jurnal Sistem Informasi dan Teknik Komputer*, vol. 9, no. 2, 2025.
- [12] R. Muzhaffar and I. Suharjo, "Penerapan convolutional neural network berbasis arsitektur ResNet-50 untuk klasifikasi citra beras organik dan non-organik," *Jurnal Pustaka Data*, vol. 5, no. 2, 2025.
- [13] Bhattacharjee *et al.*, "A comparative study on rice grain classification using convolutional neural network and other machine learning techniques," *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 2025.
- [14] W. Xia *et al.*, "An overall real-time mechanism for classification and quality evaluation of rice," *arXiv preprint*, 2025.
- [15] Sharma *et al.*, "A twin CNN-based framework for optimized rice leaf disease classification with feature fusion," *Journal of Big Data*, vol. 12, no. 89, 2025, doi: 10.1186/s40537-025-01148-z.